

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**IGOR VILCZEK**

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PONTA NOS DESVIOS DE  
CILINDRICIDADE NO PROCESSO DE FURAÇÃO COM BROCAS  
HELICOIDAIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA**

**2016**

**IGOR VILCZEK**

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PONTA NOS DESVIOS DE  
CILINDRICIDADE NO PROCESSO DE FURAÇÃO COM BROCAS  
HELICOIDAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, da Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Henrique Ajuz Holzman

**GUARAPUAVA**

**2016**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Guarapuava

Coordenação de Engenharia Mecânica (COEME)  
Engenharia Mecânica



---

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PONTA NOS DESVIOS DE CILINDRICIDADE NO PROCESSO DE FURAÇÃO COM BROCAS HELICOIDAIS

Igor Vilczek

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 29 de Novembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. Henrique Ajuz Holzman  
Prof. Orientador

---

Prof. João Sérgio Hul  
Membro titular

---

Prof Dra Silvia do Nascimento Rosa  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Cada sonho que você deixa para trás, é  
um pedaço do seu futuro que deixa de  
existir.

Steve Jobs

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais tipos de furação .....	5
Figura 2 – Broca helicoidal .....	7
Figura 3 – Ângulos de corte de uma broca helicoidal.....	8
Figura 4 - Mecanismos de desgaste em função da temperatura do processo .....	9
Figura 5 – Desgaste em uma broca helicoidal .....	11
Figura 6 - Desgaste de flanco .....	11
Figura 7 - Desgaste de cratera.....	12
Figura 8 - Desgaste de gume transversal .....	13
Figura 9 - Desgaste de quina .....	13
Figura 10 - Desgaste de guia .....	13
Figura 11 - Erros geométricos no processo de furação.....	14
Figura 12 – Peça utilizada no processo... ..	17
Figura 13 - Ferramentas utilizadas com diferentes ângulos de ponta.....	17
Figura 14 – Fresadora utilizada no processo.....	18
Figura 15 – Máquina de medição por coordenada utilizada no processo.....	19
Figura 16 – Adesão de material na superfície da ferramenta com ângulo 120° .....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de diferentes ferros fundidos nodulares NBR 8650/1984...	15
Tabela 2 – Aplicações dos ferros fundidos nodulares NBR 8650.....	16
Tabela 3 – Parâmetros de corte.....	18
Tabela 4 – Desgaste de flanco ( $V_{b_{max}}$ ) $\mu\text{m}$ .....	21
Tabela 5 – Diâmetro real em função do ângulo de ponta.....	23
Tabela 6 – Desvio de cilindricidade em função do ângulo de ponta.....	25

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desvio de circularidade ao início e término de cada ciclo.....	25
---	----

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

vc - Velocidade de corte  
vf – Velocidade de avanço  
f – Avanço por rotação  
ve – Velocidade efetiva de corte  
 $\varphi$  - Ângulo da direção de avanço  
 $\eta$  - Ângulo da direção efetiva do corte  
 $\alpha$  – Ângulo de incidência  
 $\gamma$  – Ângulo de saída  
 $\sigma$  – Ângulo de ponta  
 $\beta$  - Ângulo de cunha  
W - Desgaste de quina  
VB – Desgaste de flanco médio  
VB<sub>max</sub> – Desgaste de flanco máximo  
M<sub>w</sub> – Desgaste de guia lateral  
K<sub>w</sub> – Desgaste de cratera  
K<sub>t</sub> – Profundidade da cratera  
K<sub>b</sub> – Largura da cratera  
K<sub>m</sub> – Centro da cratera até a aresta de corte  
C – Carbono  
Si – Silício  
Mn – Manganês  
P – Fosforo  
S - Enxofre  
Cu – Cobre  
 $\theta$  – Desvio Padrão  
X – Média aritmética



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 JUSTIFICATIVA .....	2
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO .....	4
2.2 MOVIMENTOS RELATIVOS DA FURAÇÃO .....	5
2.3 FURAÇÃO COM BROCAS HELICOIDAIS .....	6
2.4 BROCAS HELICOIDAIS INTERIÇAS .....	6
2.4.1 GEOMETRIA DA BROCA HELICOIDAL .....	8
2.5 MECANISMOS DE DESGASTE .....	9
2.5.1 DESGASTE DE UMA BROCA HELICOIDAL .....	10
2.6 PROBLEMAS NA FURAÇÃO .....	13
2.7 ORIENTAÇÕES PARA O USO CORRETO DE BROCAS .....	14
2.8 FERRO FUNDIDO NODULAR .....	15
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
3.1 DELIMITAÇÃO E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS .....	17
3.2 PROCESSO DE FURAÇÃO .....	18
3.3 INSPEÇÃO DOS FUROS E FERRAMENTAS .....	19
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>22</b>
4.1 DESGASTE DE FLANCO .....	21
4.2 DESVIO DE DIÂMETRO EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE PONTA .....	22
4.3 DESVIO DE CIRCULARIDADE .....	25
4.4 DESVIO DE CILINDRICIDADE .....	26
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>30</b>

## RESUMO

Este trabalho tem como principal finalidade investigar a influencia do ângulo de ponta em brocas helicoidais de aço rápido no desvio da cilíndricidade no processo de furação. Consequentemente pode-se ampliar o estudo também sobre a influência do ângulo no desvio de circularidade, diâmetro real e desgaste de flanco na ferramenta. Para realizar o estudo utilizou-se brocas com diâmetro de 10 mm, e como material base, um segmento de círculo de ferro fundido nodular utilizado na fabricação de mancais para turbinas hidráulicas. Para realizar o estudo foram utilizadas três brocas com ângulo de ponta diferente (100° 120° e 140°), cada ferramenta realizou 20 furos passantes com um comprimento de 20 mm no material base, ao final de cada ciclo de 5 furos foi realizado o estudo sobre a progressão do desgaste da broca. Ao final do processo de furação, a peça base foi encaminhada a uma máquina de medição por coordenadas para verificação dos respectivos desvios.

**Palavras-Chave:** ângulo de ponta, broca helicoidal de aço rápido, furação, desvio de cilíndricidade, desgaste de flanco, circularidade, ferro fundido nodular.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to investigate the influence of tip angle on fast steel helical drills in the deviation of cylindricity in the drilling process. Consequently, the study can also be expanded on the influence of the angle on the deviation of circularity, actual diameter and flank wear on the tool. To carry out the study, drills with a diameter of 10 mm were used, and as a base material, a segment of nodular cast iron used in the manufacture of bearings for hydraulic turbines. To perform the study, three drills with different tip angles (100 ° 120 ° and 140 °) were used, each tool made 20 through holes with a length of 20 mm in the base material, at the end of each 5-hole cycle The study on the progression of drill wear.

At the end of the drilling process, the base part was routed to a coordinate measuring machine to check its deviations.

**Keywords:** tip angle, fast steel helical drill, drilling, cylindricity deviation, flank wear, circularity, nodular cast iron

## 1 INTRODUÇÃO

As operações de usinagem constituem a base da indústria metal mecânica, são elas as responsáveis pela transformação de produtos do estado bruto em produtos manufaturados. Estima-se que cerca de 10% do produto interno bruto dos Estados Unidos estejam associados a processos de usinagem, incluindo gastos com ferramenta, custos com mão-de-obra e com o capital investido (SHAW, 2005).

Dentre todas as operações a furação possui um papel de inegável importância, devido a sua alta utilização dentro da indústria. A furação é um processo que tem por objetivo a obtenção de furos, geralmente cilíndricos, através de movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta. Grande parte dos produtos manufaturados necessita passar por esse processo para a obtenção de furos, ou mesmo para o acabamento dos mesmos já realizados por processos de conformação.

Em operações de furação, as brocas helicoidais são as ferramentas com maior utilização devido a sua aplicação universal. Apesar deste tipo de ferramenta ser empregado há mais de 200 anos, e mesmo com todos os esforços realizados neste período, no sentido de melhorar o rendimento das operações, brocas helicoidais normalmente são o gargalo das operações de usinagem (BORK, 1995).

De uma maneira geral essas brocas são classificadas de acordo com o material a ser usinado e seus respectivos ângulos geométricos, podendo ser divididas entre H (indicadas para materiais duros e frágeis ou que produzam cavaco curto, podem variar com  $\sigma = 80^\circ$ ,  $\sigma = 118^\circ$  e  $\sigma = 140^\circ$ ), N (indicadas para materiais com tenacidades medianas, podem variar com  $\sigma = 118^\circ$  a  $\sigma = 130^\circ$ ) e W (indicadas para materiais macios ou que produzem cavaco longo, possuem  $\sigma = 130^\circ$ ). Outro ponto que requer atenção na furação com brocas helicoidais é sua imprecisão, pois a tolerância dimensional normal de superfície furada é da ordem de IT 11. Em termos de tolerância geométrica este processo também é afetado, fazendo com que o comprimento do furo não possa ser muito grande, relação entre largura e diâmetro no máximo da ordem de 3 (DINIZ, 2003). Caso esta relação não seja atendida pode-se ocorrer erros indesejáveis durante o processo, tais como: diâmetro não uniforme, deslocamento do centro do furo, seção circular distorcida e diâmetro circular diferente da ferramenta.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar qual o ângulo de ponta em brocas helicoidais apresenta os melhores resultados na usinagem do ferro fundido nodular.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influencia do ângulo de ponta de brocas helicoidais, no desvio de cilindricidade.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar ciclo de furação em amostra de ferro fundido nodular com brocas helicoidais com diferentes ângulos de ponta.

Avaliar o desgaste das brocas helicoidais a cada ciclo de furação.

Avaliar os desvios de cilindricidade, circularidade e diâmetro real nos furos realizados no processo

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Em tempos onde o mercado se encontra cada vez mais competitivo, padrões de qualidade são cada vez mais rigorosos, uma vez que erros nos processos de usinagem levam ao retrabalho, ocasionando maior demanda de tempo e recursos financeiros para a indústria.

O processo de furação é um dos processos mais utilizados hoje na indústria brasileira. Estima-se que o processo esteja presente em 30 a 40% das operações realizadas. Porém, no Brasil mais da metade das operações de furação ainda são realizadas com brocas helicoidais de aço rápido (DINIZ et al, 2003). Este tipo de processo possui menor controle se comparado a outros modos de usinagem. Uma das possibilidades de melhorar o rendimento e a qualidade da furação é a modificação da geometria da broca. Variações na geometria deste tipo de ferramenta vêm sendo propostas, visando reduzir as forças de usinagem, aumentar

a vida da ferramenta, diminuir o tempo de usinagem e melhorar a qualidade dos furos, entre outros aspectos (BORK,1995).

Portanto, é de suma importância conhecer qual é a influencia das diversas geometrias presentes nas ferramentas sob os padrões de qualidade no processo de furação. Este trabalho irá avaliar a influencia do ângulo de ponta no processo de furação com brocas helicoidais de aço rápido.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO

De acordo com a norma DIN 8589, o processo de furação é definido como um processo de usinagem que possui movimento de corte circular, ou seja, seu principal movimento para a retirada de material é rotativo. A ferramenta de corte possui movimento de avanço no sentido do seu eixo de rotação.

A furação pertence ao grupo de operações de usinagem com geometria definida, sendo um dos processos mais comuns na indústria, responsável por 30% das operações realizadas em metais e 75% do volume de material removido (TÖNSHOFF, 1994).

Esse processo trabalha em condições severas, sendo que a velocidade de corte não é uniforme, variando desde zero no centro do furo até um máximo na periferia. O fluido de corte, quando utilizado, chega com maior dificuldade até as arestas de corte, onde é responsável pela refrigeração, lubrificação e auxilia na remoção do cavaco em furos profundos, ou seja, aqueles que apresentam uma relação de diâmetro e profundidade maior que 5 ( $L/D > 5$ ) (STEMMER, 2008).

A Figura 1 apresenta as principais operações de furação, podendo ser subdividida:

- Furação em cheio: Processo destinado para a obtenção de furos cilíndricos, removendo todo o volume de material na forma de cavaco compreendido no furo. Se forem necessários furos com grandes profundidades, utiliza-se ferramentas dedicadas a esta etapa.

- Furação escalonada: Quando há necessidade de dois ou mais diâmetros diferentes no mesmo furo.

- Escareamento: Processo destinado a obtenção de rebaixo em uma peça pré - furada, este é um processo secundário de furação.

- Furação de centro: Processo destinado a obtenção de um furo de centro, destinado a uma segunda operação (furo guia).

- Trepanação: Processo de furação onde apenas a periferia do material é removida, permanecendo um núcleo maciço.

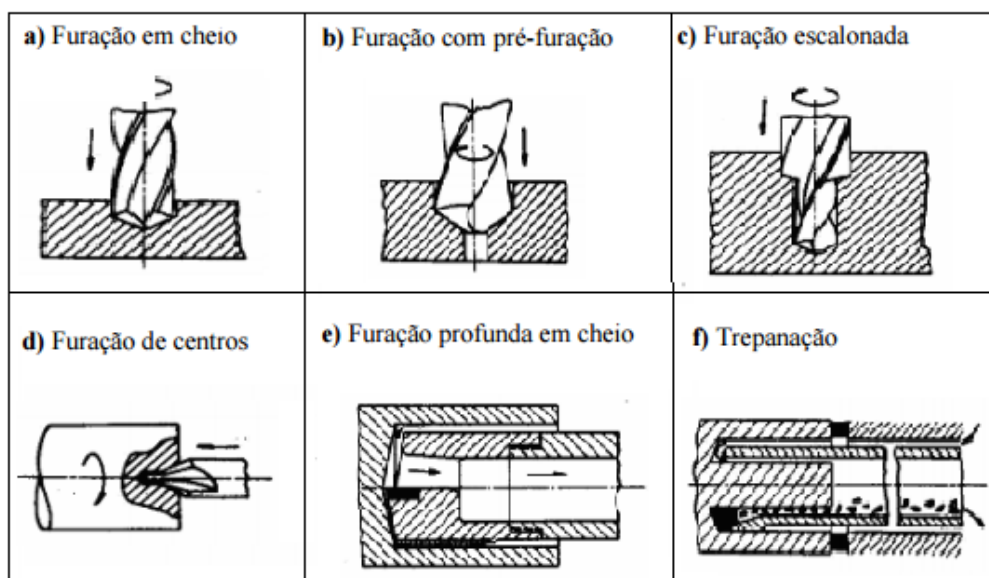


Figura 1 - Principais tipos de furação

Fonte: MORAES, 2009.

## 2.2 MOVIMENTOS RELATIVOS DA FURAÇÃO

Para executar a remoção do material é necessário que a peça ou a ferramenta esteja em movimento uma em relação a outra, esses movimentos são classificados ativos onde ocorre a remoção de cavaco e passivos, onde não ocorre a remoção de cavaco, e estão diretamente ligados a fatores como: acabamento da peça, dureza do material a ser usinado e a vida útil da ferramenta. As velocidades e as direções no processo podem ser definidas como (STEMMER, 2008).

- Movimento de corte: Esse movimento pode ser produzido manualmente ou pela própria máquina, é um movimento relativo entre a ferramenta e a peça, forçando o material da peça sobre a face de corte da ferramenta.

- Direção do movimento de corte: Direção instantânea do movimento de corte, no ponto em que a ferramenta toca a peça.

- Velocidade de corte ( $v_c$ ): Velocidade instantânea do movimento principal.

- Movimento de avanço: Produzido manualmente ou pela máquina, gerando um movimento relativo entre a ferramenta e a peça, quando somado ao movimento de corte ocasiona a remoção de material na forma de cavaco.

- Direção do movimento de avanço: Direção instantânea do movimento de avanço.



- Velocidade de avanço ( $v_f$ ): Velocidade instantânea do movimento de avanço.
- Movimento efetivo de corte: Movimento resultante entre os movimentos de corte e avanço.
- Direção efetiva de corte: Direção instantânea do movimento efetivo de corte, em relação ao gume da ferramenta com a peça.
- Velocidade efetiva de corte ( $v_e$ ): Velocidade instantânea do movimento efetivo de corte.
- Ângulo da direção de avanço ( $\varphi$ ): Ângulo formado entre as direções dos movimentos de avanço e de corte.
- Ângulo da direção efetiva do corte ( $\eta$ ): Ângulo formado entre a direção do movimento de corte e a direção efetiva de corte.

### 2.3 FURAÇÃO COM BROCAS HELICOIDAIS

Perante a diversidade de matérias prima presente no mercado, necessita-se de ferramentas específicas para a usinagem de cada tipo de substrato, desta forma existe uma ampla gama de brocas, cada qual com uma aplicação específica. As mais comuns são brocas chatas, brocas helicoidais, brocas escalonadas, brocas de centro, brocas helicoidais com pastilhas de metal-duro, e brocas ocas, sendo a mais utilizada a broca helicoidal (STEMMER, 2001).

O processo de furação com brocas helicoidais representa uma faixa correspondente entre 20 a 25% de todos os processos de usinagem. Sendo que este tipo de broca é a ferramenta mais produzida e mais difundida (KÖNIG, 1997).

### 2.4 BROCAS HELICOIDAIS INTERIÇAS

Sua forma construtiva é constituída principalmente de uma haste cilíndrica e um corpo cortante, que pode ser afiada de acordo com o material a ser usinado. Geralmente apresenta dois gumes ligados através da aresta transversal, porém podem apresentar diferentes configurações com três ou mais gumes a fim de reduzir os erros de posicionamento, melhorar o fluxo de saída do cavaco e reduzir as forças de corte e avanço (DINIZ et al, 2006).

As brocas podem ser identificadas de acordo com o material da ferramenta, forma da haste, número de canais, sentido de corte, comprimento, diâmetro e tipo de afiação (STEMMER, 2001). Suas partes principais podem ser vistas na Figura 2.

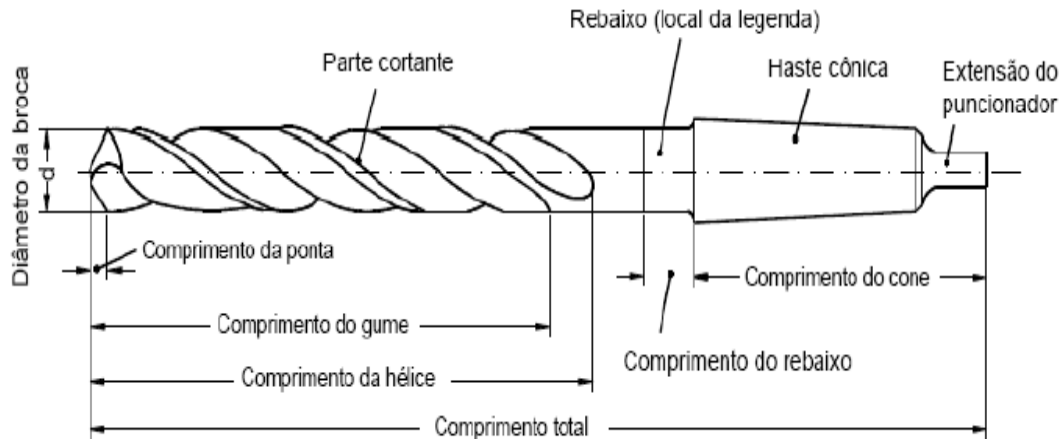


Figura 2 – Broca helicoidal e suas parte

Fonte: Castillo, 2005.

Além das partes mostradas na Figura 2, existem outras partes que constituem uma broca helicoidal (DINIZ et al, 2003; STEMMER, 1995).

- Canais helicoidais: São superfícies destinadas a remoção do cavaco, o comprimento e a profundidade desses canais estão relacionados com o diâmetro da broca e com a profundidade do furo a ser realizado.

- Arestas principais de corte: São as arestas responsáveis por formar o ângulo de ponta da ferramenta, agem diretamente no corte do material.

- Gume transversal: Aresta que une os gumes das ferramentas, seu comprimento está relacionado com o diâmetro do núcleo.

- Guias: Reduzem a superfície de contato entre a ferramenta e o material da peça, diminuindo o atrito entre ambos.

- Haste: Tem por objetivo fixar a ferramenta no porta-ferramentas e pode ser cônica ou cilíndrica.

- Núcleo: Responsável pela rigidez da ferramenta e seu diâmetro está relacionado com o diâmetro da broca ( $0.16D$ ).

### 2.4.1 GEOMETRIA DA BROCA HELICOIDAL

A geometria de uma broca helicoidal apresenta superfícies e arestas de corte similares a ferramenta utilizada no torneamento, considerando a intersecção entre as superfícies de saída e de folga e o gume transversal que pelo movimento de avanço se torna parte do gume principal, formando as cunhas de corte da broca. O ângulo de saída é definido pelo ângulo de hélice, este ângulo não é constante em todo o gume principal da ferramenta, seu valor máximo se dá na ponta de corte (CASTILLO, 2005). Uma broca helicoidal é composta por diversos ângulos, os principais ângulos podem ser vistos na Figura 3.

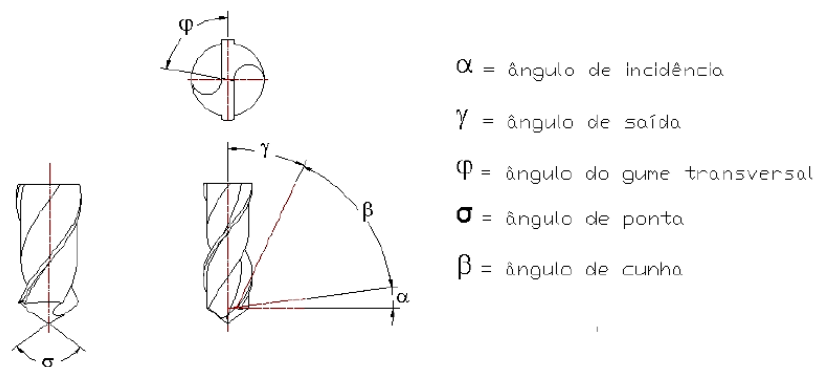


Figura 3 – Ângulos de corte de uma broca helicoidal

Fonte: STEMMER, 2005.

O ângulo de incidência ( $\alpha$ ) geralmente encontra-se na faixa de 12 a 15 graus. Um aumento no ângulo  $\alpha$  evita o esmagamento de material pelo flanco da broca, resultando em uma diminuição das forças de avanço (TEIXEIRA, 1995)

O ângulo de saída ( $\gamma$ ) ângulo da helicoide dos canais da broca. As brocas se classificam em três tipos de acordo com o ângulo da hélice: N (materiais usuais como o aço); H (materiais duros e frágeis); W (para materiais moles).

O ângulo de gume transversal ( $\varphi$ ) é o menor ângulo formado entre os gumes principais e o gume transversal. Pode ser determinado pelo ângulo de incidência  $\alpha$

O ângulo de ponta ( $\sigma$ ): Formado pelos dois gumes principais. Tem influência na espessura do cavaco formado para um mesmo avanço no processo pois um ângulo de ponta menor reflete na formação de cavacos mais finos e largos, já um ângulo de ponta maior permite um aumento no avanço que reflete diretamente no tempo de usinagem para uma mesma operação. Também aumenta a resistência mecânica e a dissipação de calor da ferramenta. Porém um aumento no ângulo de

ponta pode dificultar a centragem da broca, ou seja, dificulta a repetitividade de posicionamento da ponta da broca sobre a peça (STEMMER, 2005).

## 2.5 MECANISMOS DE DESGASTE

Os mecanismos de desgaste da ferramenta constituem um importante estudo no desenvolvimento de novas tecnologias, visto que, representam uma maneira de aumentar a vida útil da ferramenta. O desgaste da ferramenta não pode ser evitado, porém, pode ser reduzido, se tais mecanismos forem bem entendidos (CHILDS, 2000). Os danos à ferramenta podem ser classificados em dois grupos: desgaste e avaria. O mecanismo de desgaste tem como característica a perda de material em pequenas porções, essas porções podem ser em níveis atômicos ou moleculares. Por outro lado, a avaria, leva a perda de grandes porções de material da ferramenta de maneira súbita (CHILDS, 2000).

Define-se desgaste em ferramentas de corte como sendo a perda gradual de material do corpo pela ação do contato físico entre a ferramenta e a peça (KÖNIG, 1997). A norma que rege os mecanismos de desgaste é a DIN 50320, que relaciona os quatro principais mecanismos: adesão, abrasão, quebra da superfície e formação de óxidos. Outra via de desgaste, esta relacionado com as solicitações mecânicas e a fadiga térmica excessiva (KÖNIG, 1997). A Figura 4 relaciona os principais mecanismos de desgaste em função da temperatura no processo.

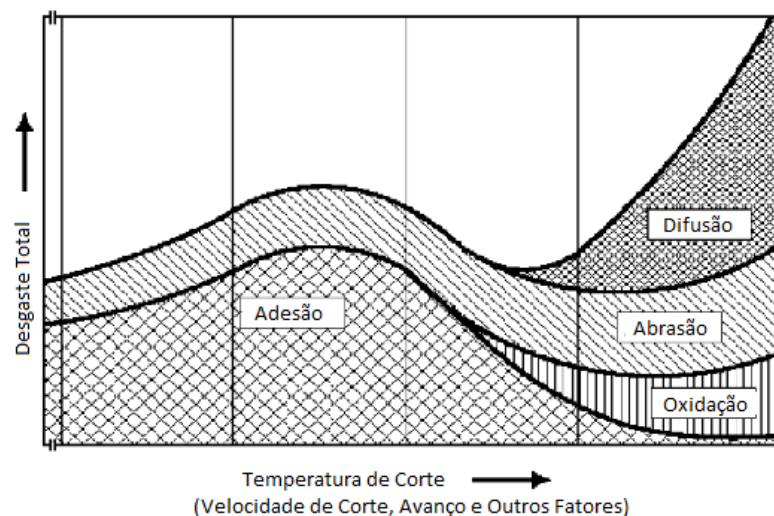


Figura 4 – Mecanismos de desgaste em função da temperatura do processo

Fonte: KÖNIG, 1997.

Segundo MATTES (2009) as solicitações térmicas e mecânicas ocorrem no processo de entrada e saída da ferramenta na peça, a ferramenta atinge altas temperaturas enquanto percorre o material, e sofre um resfriamento ao sair do mesmo, esse processo cíclico favorece o desgaste.

Abrasão ocorre devido ao atrito entre a superfície de folga e o material da peça, é uma das principais causas de desgaste em ferramentas de corte. O desgaste gerado pela abrasão é potencializado pela presença de partículas duras no material da peça e pela temperatura de corte, que acaba reduzindo a dureza da ferramenta (DINIZ et al, 2003).

Adesão ocorre principalmente em baixas velocidades e baixas temperaturas de corte, condições estas, que favorecem a formação de aresta postiça de corte, entretanto pode ocorrer o desgaste por adesão sem a formação de arestas. O fluxo irregular de cavaco, causado pelo corte interrompido, profundidade de corte irregular e a falta de rigidez levam ao micro caldeamentos a superfície de saída da ferramenta. Devido as solicitações intermitentes, o material aderido sofre fadiga, removendo parte da superfície de contato da ferramenta (WOSNIAK, 2011).

O processo de difusão ocorre em temperaturas elevadas, quando o material da peça e da ferramenta possui afinidade química, tal fenômeno consiste na transferência de átomos de um material para outro, levando a uma variação das propriedades na camada superficial da ferramenta, essas variações provocam a formação de compostos químicos menos resistentes a abrasão (DINIZ et al, 2006).

Já a oxidação ocorre em grande parte dos metais na presença de altas temperaturas, ar e água. A ação destrutiva da oxidação ocorre devido a formação de volumes de óxidos, criando ressaltos na superfície da ferramenta, que pode facilmente ocasionar lascamento e quebra da quina (TRENT; WRIGHT, 2000).

### 2.5.1 DESGASTE DE UMA BROCA HELICOIDAL

No processo de furação com brocas helicoidais, pode-se observar os seguintes tipos de desgaste (DINIZ et al, 2006).

- Desgaste de quina – W.
- Desgaste de flanco médio – VB.
- Desgaste de flanco máximo – VB max.

- Desgaste de guia lateral – Mw.
- Desgaste de cratera – Kw.
- Desgaste de gume transversal.

Entretanto os desgastes que geralmente são mensurados são os de flanco e o de cratera, que servem como critério para o fim de vida da ferramenta (SCHROETER, 1999). Tais desgastes podem ser melhor compreendidos observando a Figura 5.

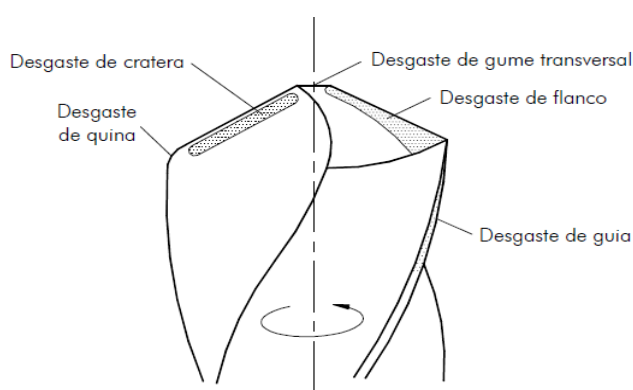


Figura 5 - Desgaste em uma broca helicoidal

Fonte: MORAES, 2009.

O desgaste de flanco ocorre na superfície de folga da broca, levado pelo contato entre ferramenta e peça (DINIZ et al, 2006). A medição do desgaste pode ser feita utilizando microscópio com um aumento de 10 a 50 vezes. A Figura 6 mostra uma ampliação do flanco da ferramenta com o modo de medição do desgaste.

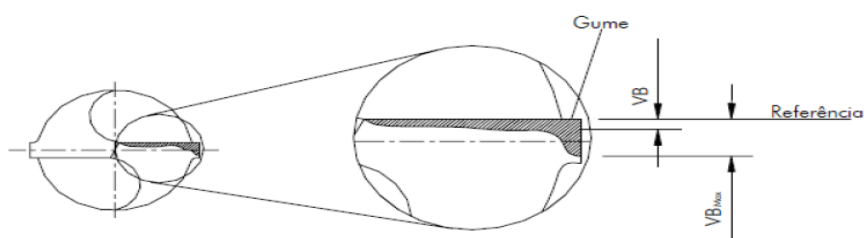


Figura 6 – Desgaste de flanco

Fonte: SCHROETER, 1999.

O desgaste de cratera geralmente ocorre na superfície de saída da ferramenta, devido ao atrito com o cavaco (DINIZ et al, 2006). A Figura 7 exemplifica as medidas para o desgaste de cratera, sendo que:

KB - Largura de cratera.

KM - Centro da cratera até a aresta de corte.

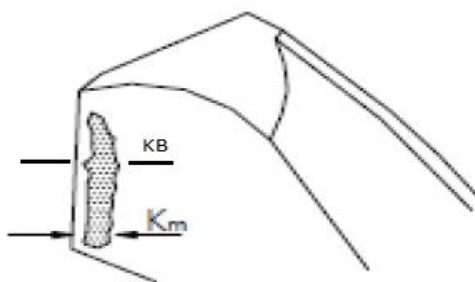


Figura 7 – Desgaste de cratera

Fonte: KANAI, 1978.

O desgaste de gume transversal é uma região crítica onde ocorrem danos já no primeiro contato da ferramenta com a peça. Região de alta sollicitação mecânica ao mesmo tempo em que a velocidade de corte ( $v_c$ ) nesse ponto tende a zero, levada a um desgaste contínuo pelo esmagamento do material. Tais esforços podem levar ao lascamento e conseqüentemente destruição do gume transversal (CASTILLO, 2005). A Figura 8 apresenta a região onde ocorre o desgaste do gume transversal, bem como uma amostra do desgaste.



Figura 8 – Desgaste de gume transversal

Fonte: CASTILLO, 2005.

A quina ( $W$ ) da broca é a região que sofre pelas sollicitações térmicas devido às altas velocidades de corte e ao calor gerado pelo atrito do cavaco na superfície de saída, conjunto com o atrito das guias da ferramenta com as paredes do furo

(SCHROETER, 1999). Na Figura 9 é possível visualizar o aparecimento de um desgaste de quina na broca.

Por fim o desgaste de guia ( $M_w$ ) gerado pelo atrito que ocorre entre a guia e a parede do furo, a Figura 10 mostra a região onde ocorre este tipo de desgaste.

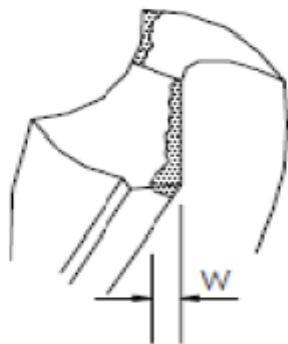


Figura 9 – Desgaste de quina  
Fonte: SCHROETER, 1999.

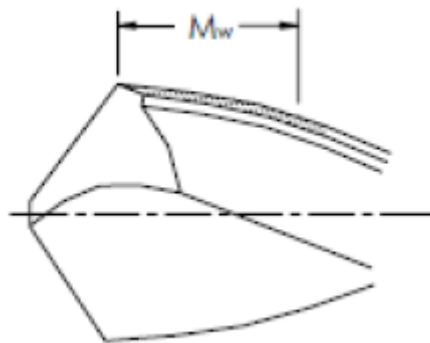


Figura 10 – Desgaste de  
Fonte: KANAI, 1978.

## 2.6 PROBLEMAS NA FURAÇÃO

A qualidade de um furo usinado, no que se refere aos erros de forma e medida, depende principalmente da afiação e da geometria de ponta da broca. As imperfeições mais comuns que ocorrem na geometria do furo durante o processo de furação são (VILLARROEL, 1991):

- Erros de cilindridade (forma): Diferença de raio entre dois cilindros concêntricos contidos na superfície do furo.
- Formação de rebarbas no furo: Dependente das condições de usinagem empregadas, tão quanto dos materiais da ferramenta e da peça.
- Erro de posicionamento do furo: Dependente da combinação máquina-ferramenta e da geometria de ponta da broca.
- Erros de circularidade: Assumem as mais diversas formas, tendo como fator crítico para essas imperfeições fatores como rigidez do sistema árvore, cone, ferramenta e peça.
- Erro de sobre medida (dimensão): Influenciado pela simetria entre os gumes da ferramenta e pela rigidez da ferramenta. Essa não simetria da broca é levada pela má fabricação da ferramenta ou por um erro no processo de afiação.



A Figura 11 ilustra as imperfeições que podem ser geradas no processo de furação.

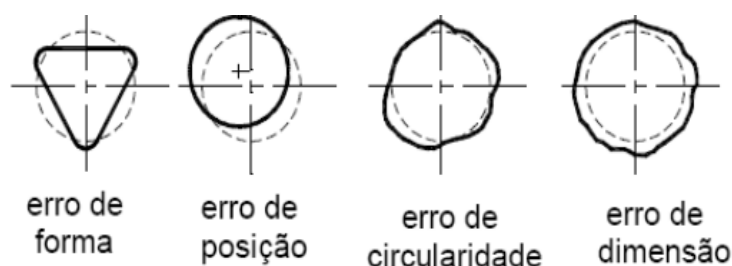


Figura 11 – Erros geométricos no processo de furação

Fonte: VILLARROEL,1991.

## 2.7 ORIENTAÇÕES PARA O USO CORRETO DE BROCAS

Para uma escolha correta do tipo de broca a se utilizar, devem-se levar em conta algumas propriedades, tais como: material da peça, rigidez da ferramenta, dimensões do furo, máquina-ferramenta, tolerâncias e custos desejados.

i) Parâmetros de corte e fluido refrigerante: Deve-se levar em conta parâmetros como a velocidade de corte ( $v_c$ ) recomendada para o conjunto peça/ferramenta.

ii) Fluido de corte: se utilizado, garantir que o mesmo alcance a ponta da broca.

iii) Fixação correta da ferramenta: Os dispositivos de fixação como mandril ou pinças devem ser de boa procedência. Brocas com haste cônica devem ser fixadas no cone da máquina com martelo de borracha ou plástico maleável.

iv) Material a ser usinado: O material a ser usinado requer atenção, composições com alta dureza na camada superficial como peças forjadas ou com incrustações superficiais em peças fundidas. Tais materiais requerem afiação apurada, avanços adequados e uniformes, velocidades moderadas e alta refrigeração (TEIXEIRA, 1995).

## 2.8 FERRO FUNDIDO NODULAR

O ferro fundido nodular é uma liga constituída basicamente de carbono e silício, sendo que o carbono (grafite) se apresenta livre na matriz metálica na forma esferoidal. Passou a ser amplamente empregado na indústria a partir da década de 70, ampliando as aplicações dos ferros fundidos devido a sua combinação de propriedades mecânicas, tais como: alta tenacidade, resistência a tração, ductilidade, resistência ao desgaste e fadiga, tornando-se um material competitivo para a engenharia, apresentando propriedades mecânicas que antes eram encontradas apenas nos aços. Segundo a NBR 8650/1984 a composição dos diferentes ferros fundidos nodulares deve seguir a Tabela 1.

Também segundo a NBR 8650/1984 a sigla FE pertencente ao ferro fundido nodular. Em sua classificação a sigla aparece seguida por um código composto por cinco números FE XXXYY, os três primeiros XXX fazem referência a resistência a tração em MPa do material, já os dois últimos YY referem-se a porcentagem de alongamento. Por exemplo, FE 38017, é um ferro fundido nodular com resistência a tração de 380 MPa e um alongamento de 17%. Na Tabela 1, pode-se observar a composição química de cada ferro fundido nodular bem como os limites em porcentagem de cada elemento na sua composição.

Tabela 1 – Composição de diferentes ferros fundidos nodulares

Elemento	Classes de ferro fundido nodulares					
	FE 38017	FE 42012	FE 50007	FE 60003	FE 70002	FE 80002
C	3,4 a 3,8	3,4 a 3,8	3,4 a 3,8	3,4 a 3,8	3,4 a 3,8	3,4 a 3,8
Si	2,1 a 2,8	2,1 a 2,5	2,8 a 2,8	3,4 a 3,8	2,3 a 2,8	2,1 a 2,8
Mn (máx)	0,3	0,3	0,5	0,5	1,0	1,0
P (max)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
S (máx)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cu	-	-	0,2 a 0,7	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0
Mg	0,04 a 0,06	0,04 a 0,06	0,04 a 0,06	0,04 a 0,06	0,04 a 0,06	0,04 a 0,06

Fonte: NBR 8650/1984.

Estes ferros fundidos nodulares possuem diversas aplicações industriais segundo a NRB 8650, tais aplicações podem ser melhores compreendidas observando a Tabela 2.

Tabela 2 – Aplicações dos ferros fundidos nodulares

Classe	Aplicação
FE 38017	Fundidos submetidos à pressão, corpos de válvulas e de bombas, mecanismos de direção, flanges
FE 42012	Fundidos para máquinas submetidas a cargas de choque e fadiga, discos de freio
FE 50007	Girabrequins e engrenagens
FE 60003	Engrenagens de alta resistência, componentes de máquinas, peças automotivas
FE 70002	Engrenagens de alta resistência, componentes de máquinas, peças automotivas
FE 80002	Pinhões, engrenagens, trilhos

Fonte: NRB 8650/1984.

A usinabilidade desse tipo de material depende da sua composição química e da sua microestrutura, entre elas existem algumas relações como: redução do teor de carbono gerando o aparecimento de carbono livre, que fragiliza o material, tornando sua usinagem mais difícil; o aumento do teor de silício diminuindo a ocorrência de APC (aresta postiça de corte) levando a uma melhora no processo (VILLARROEL, 1991).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DELIMITAÇÃO E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS

Esta atividade teve por objetivo levantar os materiais a serem utilizados no estudo. Definindo que o material utilizado foi o ferro fundido nodular empregado na produção de mancais para eixos de turbinas hidráulicas, onde o processo de furação é amplamente utilizado, a peça pode ser visualizada na Figura 12.



Figura 12 – Peça utilizada no processo

Fonte: Autoria própria.

Foram utilizadas três brocas helicoidais de aço rápido HSS com diâmetro de 10 mm e com ângulo de ponta de 100°, 120° e 140°, as mesmas podem ser observadas na Figura 13. Tais ângulos foram obtidos por configuração do próprio fabricante, buscando no mercado três ferramentas com ângulo de ponta distinto.



Figura 13 – Ferramentas utilizadas com diferentes ângulos de ponta (100°, 120° e 140°)

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 PROCESSO DE FURAÇÃO

Após a obtenção do material base e das ferramentas, o processo de furação foi realizado em fresadora marca Diplomat modelo FVF 2500, presente no laboratório de usinagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava. .



Figura 14 – Fresadora utilizada no processo  
Fonte: Autoria própria.

Cada uma das três brocas realizou um total de vinte furos com comprimento de 20 mm, medida necessária para realizar um furo passante na peça. Os furos foram subdividido em cinco intervalos para análise do desgaste de flanco nas ferramentas, utilizou-se jato de agua constante como fluido lubri-refrigerante com a finalidade de auxiliar na refrigeração e na lubrificação durante o processo. Todos os furos realizados foram submetidos aos mesmos parâmetros de corte, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de corte

<b>Parâmetro de corte</b>	
n	1000 RPM
f	0,4 mm/rot
vc	31,4 m/min
vf	40 mm/min

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 INSPEÇÃO DOS FUROS E FERRAMENTAS

Para avaliar os mecanismos de desgaste em cada ciclo de furação, as ferramentas foram levadas ao microscópio óptico marca Olympus modelo BX521, verificando o desgaste de flanco presente, esse procedimento foi repetido a cada ciclo de 5 furações em cada uma das brocas.

Após processo de furação, a peça foi levada a máquina de medir por coordenadas marca Mitutoyo modelo Crysta Apex S 574, do laboratório de metrologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Guarapuava. Foram analisados os desvios de cilindridade, circularidade e diâmetro dos furos, em função dos diferentes ângulos de ponta das brocas helicoidais. Para obtenção das medidas de circularidade e diâmetro real definiu-se 6 diferentes pontos de referencia na superfície interna do furo com uma profundidade de 3 mm, já para as medidas de cilindridade utilizou-se um total de 12 pontos, 6 na entrada e 6 na saída do furo gerado, com uma profundidade de 3 mm da entrada e 3 mm da saída do furo.



Figura 15 – Máquina por coordenada utilizada no processo

Fonte: Autoria própria.

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma melhor análise, os dados numéricos presente neste trabalho foram divididos e tabelados em grupos de comum interesse, onde foi analisado o máximo,

mínimo, média, desvio padrão e dispersão de cada série. Para cálculo da média utilizou-se média aritmética simples seguindo a Equação 1.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ni \quad (1)$$

Para cálculo da dispersão, foi utilizado o Coeficiente de Variação de Pearson (CVP) que é dado pela razão entre o desvio padrão e a média aritmética dos dados, conforme Equação 2.

$$\text{CVP} = \frac{\theta}{x} \cdot 100 \quad (2)$$

Após a computação dos dados estatísticos, foi realizada a plotagem dos dados em gráficos para melhor interpretação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DESGASTE DE FLANCO

Para as condições de corte definidas com velocidade de corte ( $v_c$ ) = 31,4 m/min e avanço  $f = 0,4$  mm/rot os resultados observados referentes ao desgaste de flanco das brocas estão expostos na Tabela 4, onde é possível observar o comportamento do desgaste para as três brocas helicoidais de aço rápido, com diferentes ângulos de ponta na execução de 20 furos. A medida analisada refere-se ao  $VB_{max}$  em  $\mu\text{m}$ , a diferença entre o  $VB_{max}$  medido no primeiro ciclo e no último ciclo de cada ferramenta.

Tabela 4 – Desgaste de Flanco ( $Vb_{max}$ )  $\mu\text{m}$ .

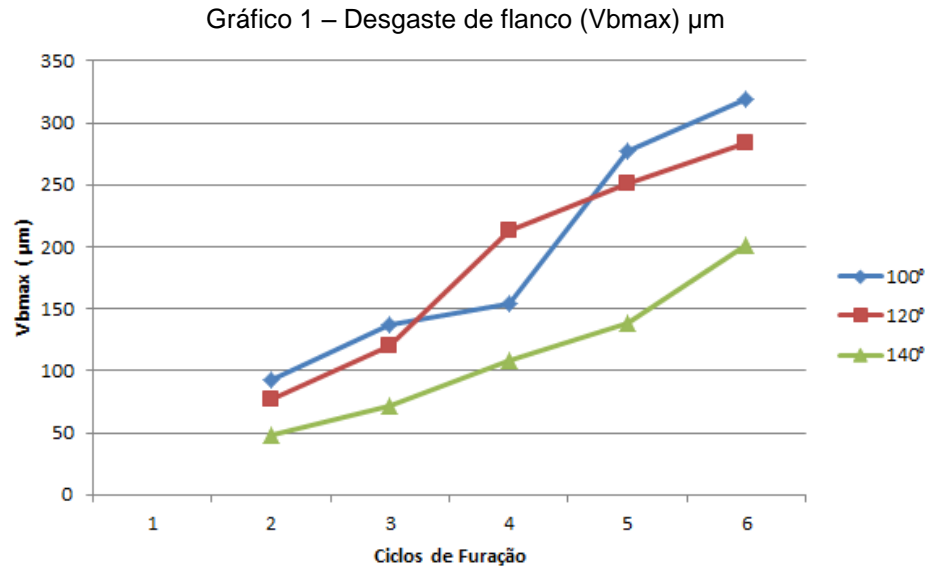
Ciclo	100°	120°	140°
1	92,78	76,55	48,2
2	137,79	120,03	71,76
3	154,57	213,12	108,64
4	277,47	250,69	138,25
5	319,05	284,31	201,81

Fonte: Autoria própria.

Para uma melhor comparação do desempenho de cada broca no que se refere ao desgaste de flanco, criou-se o Gráfico 1, onde foi possível relacionar as variáveis: Ângulo de ponta da ferramenta, número do furo realizado e  $Vb_{max}$  presente em cada etapa.

Nota-se que apesar do número de ciclos ser reduzido, é possível observar um padrão na progressão dos desgastes, as brocas com ângulos de ponta 100° e 120° respectivamente apresentaram maiores desgastes iniciais, intercalando seus picos durante o processo, chegando a um desgaste de flanco final muito próximo, já a ferramenta com ângulo de 140° apresentou um menor desgaste de flanco, tanto inicial quanto final, e uma curva de progressão mais linear se comparada com as outras.





Fonte: Autoria própria.

Outra forma de desgaste observada durante os ciclos é a adesão de material na superfície da ferramenta (APC), ficando evidente na broca com ângulo de  $120^\circ$ , tal fenômeno acarreta em um aumento na força necessária ao corte, podendo interferir nos resultados, esse fenômeno pode ser melhor observado na Figura 16.

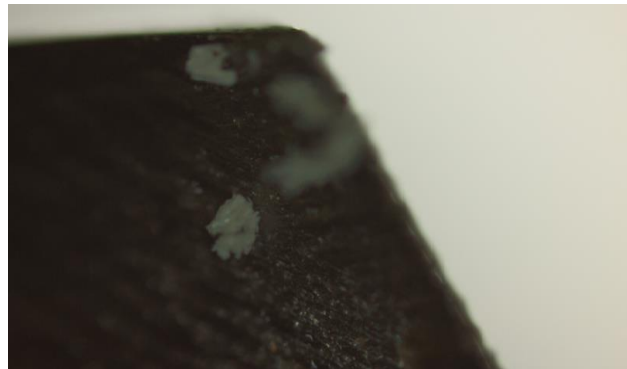


Figura 16: Adesão de material na superfície da ferramenta com ângulo de  $120^\circ$

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 DESVIO DE DIÂMETRO EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE PONTA

Outra variável observada durante o processo foi a variação do diâmetro do furo, a Tabela 5 relaciona a medida real em função de cada broca com seus respectivos ângulos de ponta, sendo os dados apresentados em milímetros.

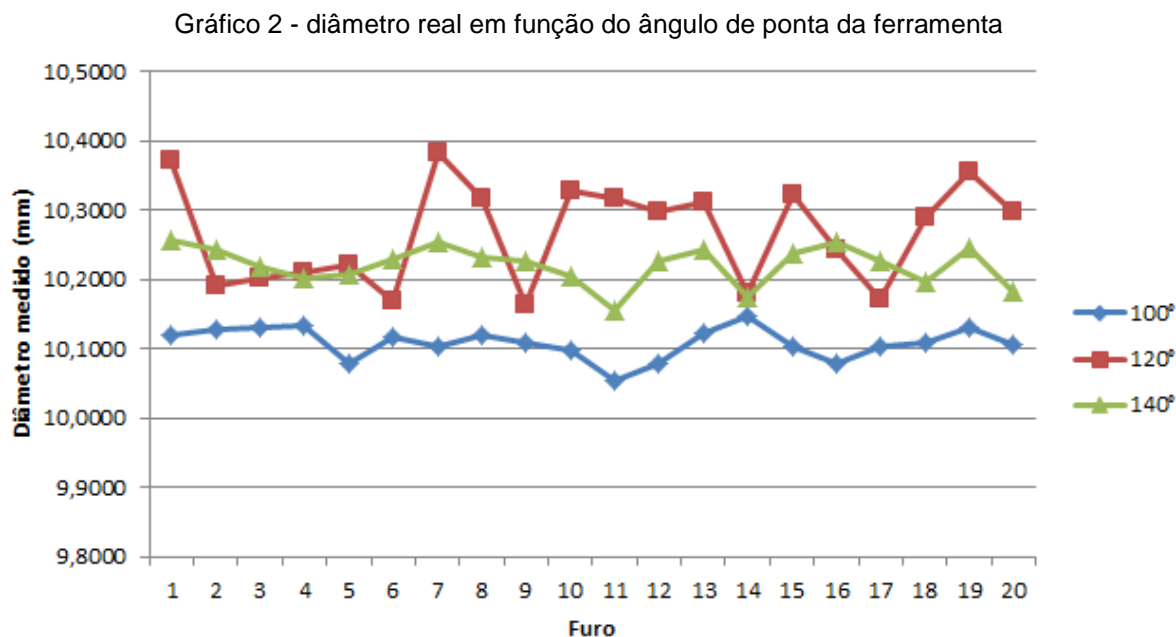
Tabela 5 – Diâmetro real em função do ângulo de ponta

N° Furo	100°	120°	140°
1	10,120	10,372	10,257
2	10,128	10,192	10,242
3	10,130	10,201	10,219
4	10,133	10,211	10,201
5	10,079	10,222	10,208
6	10,116	10,169	10,230
7	10,103	10,383	10,255
8	10,120	10,318	10,233
10	10,097	10,329	10,204
11	10,055	10,318	10,155
12	10,079	10,297	10,228
13	10,123	10,312	10,243
14	10,148	10,179	10,175
15	10,103	10,323	10,237
16	10,079	10,244	10,253
17	10,103	10,173	10,228
18	10,108	10,290	10,196
19	10,132	10,357	10,247
20	10,105	10,297	10,182
<b>Média</b>	<b>10,1086</b>	<b>10,262</b>	<b>10,221</b>
<b>Máximo</b>	<b>10,148</b>	<b>10,383</b>	<b>10,255</b>
<b>Mínimo</b>	<b>10,055</b>	<b>10,163</b>	<b>10,155</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,0227</b>	<b>0,074858</b>	<b>0,028258</b>
<b>Dispersão</b>	<b>0,2245%</b>	<b>0,7294%</b>	<b>0,2764%</b>

Fonte: Autoria própria.

Para um melhor entendimento e visualização dos dados de medição dos furos, traçou-se o Gráfico 2 que relaciona as variáveis: numero do furo, diâmetro real medido e o ângulo da ferramenta.

Observa-se que a ferramenta com ângulo de ponta de 100° apresentou um furo mais preciso no que se relaciona ao diâmetro, com uma dispersão menor e continua em torno da sua média 10,1086 mm e medidas mais próxima da medida teórica de 10 mm. As outras duas ferramentas apresentaram uma dispersão maior se comparada a broca de 100°, com distância média em patamares mais elevadas em relação a medida teórica. Durante o processo de furação, a broca helicoidal com um ângulo de ponta de 120° apresentou maior vibração, essa vibração pode ser explicada pela formação de APC que foi constatado durante a furação e em microscópio, conforme Figura 16, tal efeito pode ter refletido na dispersão do seu diâmetro real.



Fonte: Autoria própria

#### 4.3 DESVIO DA CIRCULARIDADE

Segundo NBR ISO 2768 – 2 a circularidade consiste em um caso particular de cilindricidade, quando se considera uma secção do cilindro perpendicular a sua geratriz, portanto, foi necessária a realização de um estudo sobre o desvio de circularidade em função do ângulo de ponta de brocas helicoidais.

Após a verificação do diâmetro real, deu-se início ao estudo sobre a circularidade, para tal, definiu-se 16 pontos internos dentro do primeiro e ultimo furo realizado por cada ferramenta. Os dados coletados estão dispostos na Tabela 6. As imagens referentes ao desvio de cilindricidade inicial e final de cada ciclo de furação estão dispostas no Quadro 1. Nas imagens, o círculo amarelo refere-se a circularidade teórica da ferramenta, setada com um diâmetro de 10 mm, a área em verde refere-se a tolerância geométrica da máquina, na ordem de IT11 (ISO TOLERANCIA 11), que segundo ABNT/ISSO (NBR 6158) que rege as normas de tolerância e ajustes, define uma escala que varia de IT01 a IT16. O processo de furação segundo a norma, esta classificado entra IT5 a IT11.

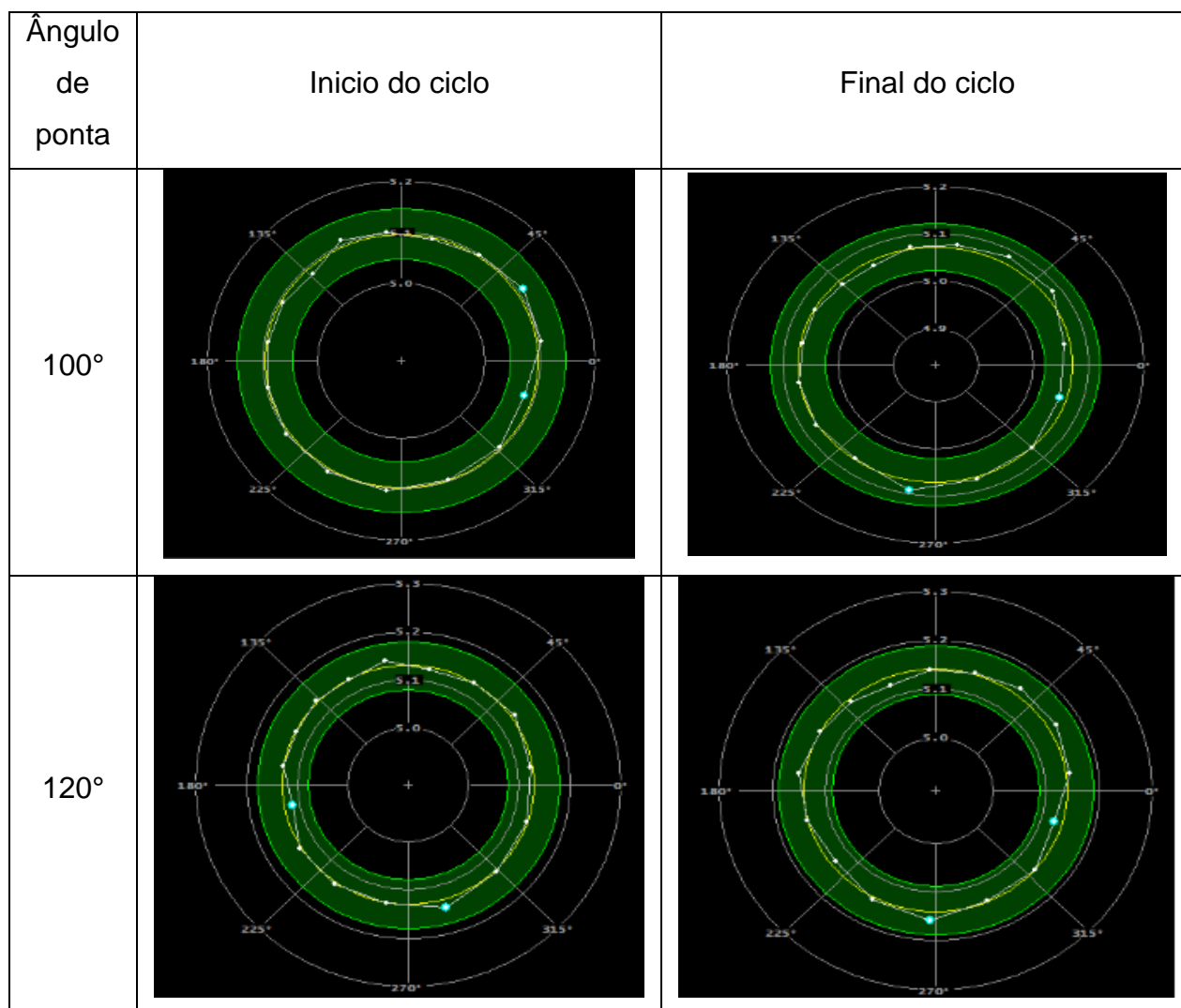
Tabela 6 – Desvio de circularidade inicial e final de cada ciclo

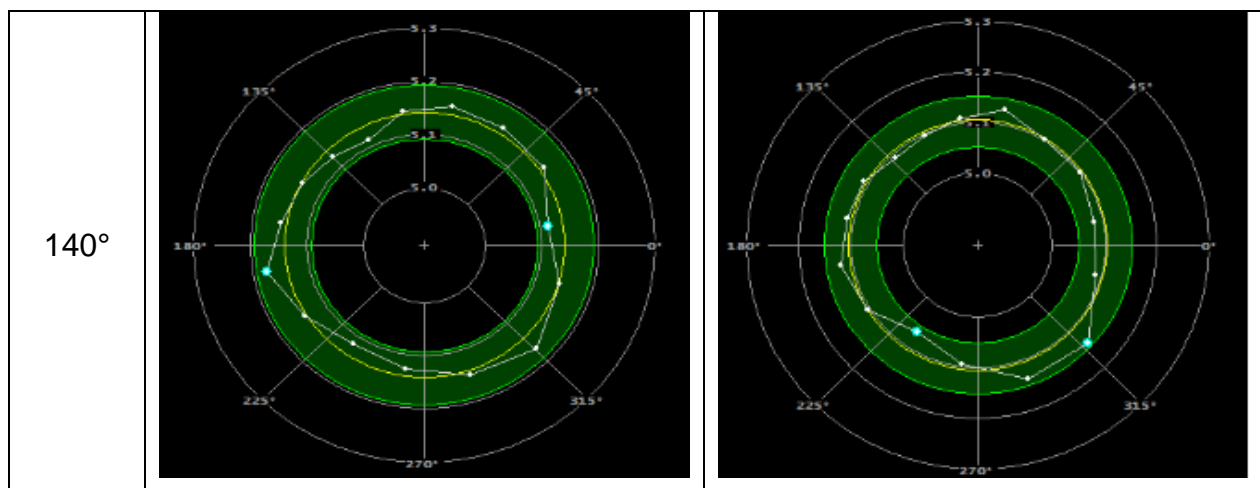
N° Furo	100°	120°	140°
1	0,029	0,030	0,064
20	0,034	0,037	0,077
<b>Varição</b>	0,005	0,007	0,013

Fonte: Autoria própria

O desvio de circularidade ao final de cada ciclo apresentou uma linearidade quando se compara o ângulo de ponta de cada ferramenta, sendo que, a broca com ângulo de 100° apresentou a menor variação total, seguida pela ferramenta de 120° e finalmente o ângulo de 140°, responsável pelo maior desvio.

Quadro 1 – Desvio de circularidade ao início e término de cada ciclo





Fonte: Autoria própria

#### 4.4 DESVIO DE CILINDRICIDADE

Na sequência das análises, realizou-se a medição do desvio de cilindridade, em função dos ângulos de ponta. A medição se deu através da obtenção de 12 pontos igualmente divididos entre entrada e saída de cada furo, observou-se os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Desvio cilindridade em função do ângulo de ponta

N° Furo	(continua)		
	100°	120°	140°
1	0,1179	0,2243	0,0437
2	0,0989	0,0772	0,0631
3	0,1059	0,0926	0,0563
4	0,1262	0,0585	0,0636
5	0,1217	0,1272	0,0534
6	0,0685	0,1032	0,0558
7	0,1297	0,2449	0,0619
8	0,1258	0,2475	0,1234
9	0,1123	0,1286	0,148
10	0,0669	0,258	0,1313
11	0,0970	0,2077	0,1965
12	0,07330	0,153	0,2148
13	0,0938	0,3174	0,1299
14	0,0779	0,1501	0,3102
15	0,0771	0,09979	0,3122
16	0,1137	0,1279	0,1021
17	0,0713	0,3197	0,1502
18	0,0751	0,1994	0,1332
19	0,0679	0,224	0,1198
20	0,077	0,0965	0,1445
<b>Média</b>	<b>0,096368421</b>	<b>0,17652578</b>	<b>0,130695</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,1297</b>	<b>0,3197</b>	<b>0,3122</b>

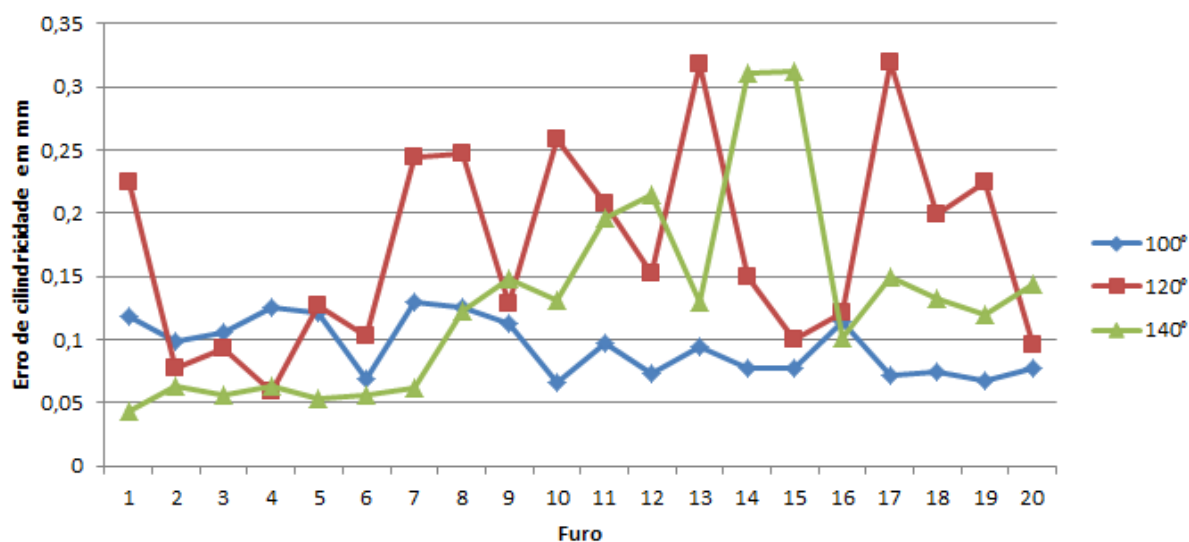
Tabela 6 – Desvio cilindridade em função do ângulo de ponta

			(conclusão)
Mínimo	0,0679	0,0286	0,0534
Desvio Padrão	0,022259082	0,07954952	0,078447941
Dispersão	23,038%	45,0639%	60,0236%

Fonte: Autoria própria

Após o processamento dos valores obtidos para o desvio de cilindridade, foi possível cruzar as variáveis: número do furo, ângulo de ponta da ferramenta e o desvio de cilindridade do processo, gerando o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Desvio de cilindridade em função do ângulo de ponta da ferramenta



Fonte: Autoria própria

Percebesse que o desvio de cilindridade para a ferramenta com o ângulo de 100° apresentou-se mais estável em relação às demais, com patamares menores durante todo o processo, e com uma dispersão mais linear. Tal resultado se deve a menor área de contato entre a ferramenta e a peça, o que leva a uma menor força necessária para o corte e uma menor vibração durante a operação. Já a ferramenta com ângulo de 120° apresentou menor dispersão se comparada com a broca de 140°.

## 5 CONCLUSÃO

Após uma análise geral de todas as informações geradas durante o desenvolvimento deste trabalho pode-se concluir que:

O trabalho atingiu os objetivos propostos inicialmente, mostrando a influencia do ângulo de ponta em brocas helicoidais inteiriças no desvio de cilindridade, diâmetro real, circularidade e também no desgaste da ferramenta.

Maiores ângulos de ponta ( $140^\circ$ ) geram um menor desgaste na ferramenta, isso se deve ao fato de que maiores ângulos levam a uma maior área de corte no gume, tornando-o também mais resistente. A ferramenta com menor ângulo ( $100^\circ$ ) foi a que apresentou o maior desgaste, justificado por uma área menor de gume, o que leva a uma maior força exercida sobre o mesmo, tornando-o mais frágil.

Se tratando dos desvios estudados durante o processo, a ferramenta com menor ângulo de ponta ( $100^\circ$ ) foi a que gerou os melhores resultados, tanto no desvio de cilindridade, circularidade quanto no diâmetro real. Ela apresentou cortes mais precisos, com menores erros e também ofereceu dados mais lineares em ferro fundido nodular.

Tais resultados nos levam a concluir que brocas com maiores ângulos de ponta apresentam uma maior resistência ao desgaste, porém geram furos com menor qualidade se comparadas a ferramentas com ângulos menores. Já brocas com ângulos menores são mais suscetíveis ao desgaste, porém apresentam furos com maior qualidade.

## REFERÊNCIAS

Bork, C. A. S., 1995, "**Otimização de Variáveis de Processo para a Furação do Aço Inoxidável Austenítico DIN 1.4541**", Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

CASTILLO, W.J G. **Furação profunda de ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal duro com canais retos**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC. Florianópolis, 2005.

CHILDS, et al ; OBIKAWA, Toshiyuki; YAMANE, Yasuo. **Metal machining theory and applications**. 1th ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2000.

DINIZ, et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 3° ed. São Paulo: Artliber Editora, 2003

DINIZ, et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 3° ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006

KANAI M. et al. **Statistical characteristics of drill wear and drill life for standardized performance tests**. Cirp Annals manufacturing technology, v. 27

KÖNIG, et al. **Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren**, 5. ed., Aachen: Editora Springer, 1997

MATTES W. **Influência dos revestimentos de brocas na furação do ferro fundido nodular austemperados**. Dissertação de mestrado, SOCIESC, 97 f. Joinville, 2009



MORAES. P.E **Tecnologia Mecânica de Fabricação**. Faculdade de Tecnologia de Mogi Mirim, 2009. Apostila.doc

NBR 8650:1984 - **Emprego de ferro fundido nodular para produtos automotivos – Procedimento**

NBR ISO 2768: 2 - **Tolerâncias geométricas para elementos sem indicação de tolerância individual**

SCHROETER, et al. Estudo comparativo de desempenho de brocas DIN 338. Florianópolis, 1999

SHAW, M. C. **Metal Cutting Principles**. Oxford: Oxford Science Publications, Clarendon Press, 2005

STEMMER, E.G. **Ferramentas de Corte II**. 4. ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 314 p., 2008

STEMMER, C. R. **Ferramentas de corte I**. 6 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I**. 5ª Edição, Florianópolis: Editora da UFSC, 2001

STEMMER, C. R. **Ferramentas de corte II**. 2 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.

TEIXEIRA. C.R, Influencia **dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rápido na qualidade dos furos produzidos**. Dissertação, UFSC 1995

TÖNSHOFF, et al. **Machines of holes – developments in drilling technology.** Annals of CIRP, 1994.

TRENT, et al. **Metal cutting.** 4 ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2000.

VILLARROEL, J. C. **Análise Comparativa entre Furação com Brocas para Furos Curtos de Insertos Reversíveis e Brocas Helicoidais.** Dissertação, UFSC, Florianópolis, 112 p, 1991

WOSNIAK, F. A, **Estudo da usinabilidade do aço 50CrMoS4 no processo de furação profunda,** 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2011.